转植酸酶基因玉米对步甲群落动态的影响

赵彩云[1]，肖能文[1]，柳晓燕[1]，何丁元[1]，关 潇[1]，白加德[2]，李俊生[1,*]
（1. 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室，北京 100012；
2. 北京麋鹿生态实验中心，北京 100076）

摘要：本研究以陷阱法研究转植酸酶基因玉米及其亲本玉米在整个生长季节对地表步甲类群的影响。每个玉米品系设置 6 块样地，两个玉米品系交替排列，每个样地设置 2 个采样点，共设置 24 个样点，整个玉米生育期取样 8 次。本研究共采集步甲标本 8 012 头，隶属于 11 属 23 种，其中黄斑青步甲 *Chlaenius micans* 个体数量分别占个体总数的 87.54%，为玉米田内的主要常见物种，蠋步甲 *Dolichus halensis*、后斑青步甲 *Chlaenius posticalis* 和单齿蝼步甲 *Scarites terricola* 个体数量分别占除黄斑青步甲之外所有步甲个体总数的 34.77%，31.16% 和 6.21%，这些物种组成当地玉米田内的常见物种。步甲物种多样性与常见物种个体数量随季节变化明显，且转植酸酶基因玉米与其亲本玉米田内步甲物种多样性和常见物种个体数量的季节变化趋势相似度较高。重复测量方差分析（Repeated ANOVA）结果表明，转植酸酶基因玉米对步甲物种丰富度、物种多度、香农威纳多样性指数和均匀度指数均没有显著影响；转植酸酶基因玉米田内的后斑青步甲个体数量明显增加，但其他常见物种没有显著变化。基于非度量多维度（NMDS）的群落结构分析表明转植酸酶基因玉米与亲本玉米田内的步甲群落结构非常相似。本文结果表明转植酸酶基因玉米的种植对步甲物种多样性及常见物种没有明显影响。

关键词：步甲；转植酸酶玉米；物种多样性；常见物种；群落动态
中图分类号：Q968 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2013)06-0680-09

Effect of phytase transgenic maize on the community dynamics of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae)

ZHAO Cai-Yun[1], XIAO Neng-Wen[1], LIU Xiao-Yan[1], HE Ding-Yuan[1], GUAN Xiao[1], BAI Jia-De[2], LI Jun-Sheng[1,*] (1. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. Beijing Milu Ecological Research Center, Beijing 100076, China)

Abstract: We compared the phytase transgenic maize and its isogenic maize to examine the effect of phytase transgenic maize on the carabid beetles in the growing seasons (June to September) of 2012. Using the pitfall traps, beetles were collected from 12 plots along six replicated blocks for each maize. Each block was composed of two plots which were planted with phytase transgenic maize and its isogenic maize, respectively. Two sample locations with five traps for each location were set in each plot, and traps were emptied twice each month. A total of 8 012 specimens were collected, belonging to 7 genera and 23 species. *Chlaenius micans* represented 87.54% of the total capture and was the most abundant species. *Dolichus halensis*, *Chlaenius posticalis* and *Scarites terricola* occupied 34.77%, 31.16% and 6.21% of the total specimens, respectively, when the individuals of *C. micans* were excluded, and were also considered as common species in this study. Most carabid beetles showed a similar pattern in seasonal changes in phytase transgenic maize. There were no significant differences in richness, abundance, Shannon-Winner diversity index and evenness index of carabid beetles between phytase transgenic maize and its isogenic maize. Repeated ANOVA analysis showed that *C. posticalis* had significantly higher abundance in phytase transgenic maize compared with its isogenic maize, but other abundant species did not show significant differences between the two maize fields. Multivariate analysis (NMDS) also indicated that high similarity in carabid assemblages were shared between phytase transgenic maize and its isogenic maize. These results suggest that phytase transgenic maize has no

基金项目：转基因重大专项(2011ZX08012-005-2)
作者简介：赵彩云，女，1977 生，博士，副研究员，研究方向为生物安全，E-mail：zhaocy@craes.org.cn
* 通讯作者 Corresponding author，E-mail：lijsh@craes.org.cn
收稿日期 Received：2013-01-20；接受日期 Accepted：2013-04-03

significantly adverse effect on carabid beetles.

Key words: Carabid beetles; phytase transgenic maize; species diversity; common species; community dynamics

随着转基因技术快速发展，抗虫、抗旱、抗除草剂等优良转基因玉米品种不断研制成功(陈洁君等，2007)。目前抗虫和抗除草剂转基因玉米被批准商业化种植，并随着大面积推广应用，转基因玉米已经成为世界上第二大种植的转基因作物(熊建文等，2011)。玉米是动物的主要能量饲料来源，中国农业科学院生物技术研究所把黑曲霉产生的植酸酶(phytase)基因转入玉米胚乳，得到含有高浓度黑曲霉植酸酶的玉米籽粒，研发出转植酸酶基因玉米(phytase transgenic maize)(姚斌和范云六，2000)，提高了猪和鸡等牲畜对磷的利用率，减少了粪便中磷的含量(张军民等，2011；Wang *et al.*，2011)，从而减轻了环境中的磷污染(张梦晗等，2012)。

转基因玉米带来巨大的社会、经济和生态效益的同时，转基因玉米及其产品的安全性也引起了世界范围内的广泛关注。转基因作物对非靶标害虫以及捕食性天敌的影响一直以来都是关注的热点(Crawley *et al.*，2001；Lumbierres *et al.*；2004；Harwood *et al.*，2005；李丽莉等，2007；Romero *et al.*，2008)。研究表明转 Bt 基因抗虫玉米的种植对蚜虫的死亡率、发育速率、生殖力、寿命等生物学参数没有显著影响(Lumbierres *et al.*，2004；李丽莉等，2007；Romero *et al.*，2008)，虽然在转基因玉米田中的玉米跳甲 *Chaetocnema pulicuria*、日本弧丽金龟 *Popillia japonica* 等害虫体内能检测到一定量的 Cry1Ab 蛋白(Harwood *et al.*，2005)，但转 Bt 基因抗虫玉米对其生物学参数没有显著影响；室内试验表明，以转基因(*cry1Ab*，*cry3Bb*)抗虫玉米花粉直接饲喂瓢虫，对其生存适合度、体内酶活性都没有显著影响(Lundgren *et al.*，2002；李丽莉等，2004；张永军等，2005)；以取食转基因玉米的玉米蚜虫饲喂龟纹瓢虫 *Propylea japonica* (Thunberg)，对天敌龟纹瓢虫生长发育和繁殖力也没有显著影响(李丽莉等，2004)；尽管在转基因玉米田中的捕食性甲虫 *Poecilus cupreus* L. 体内检测到 Cry1Ab 蛋白的残留，但是转基因玉米对其幼虫和蛹的生长发育没有影响(Álvarez-Alfageme *et al.*，2009)；西班牙多年连续的大田研究表明，同年间转 Bt 基因玉米田内与常规玉米田内的节肢动物无显著差异(Farinós *et al.*，2008)。总之，从目前报道看转基因抗虫玉米对捕食性天敌、非靶标害虫等节肢动物无负面影响。

转植酸酶基因玉米 2009 年经过农业部综合评价并获得安全生产应用证书(熊建文等，2011)。目前对于转植酸酶基因玉米的安全评价主要集中在室内对转植酸酶基因玉米的急性毒性、大鼠 90 d 喂养、植酸酶蛋白质毒性和致敏性的生物信息学分析等检测，结果表明转植酸酶基因玉米对哺乳动物无不良影响(熊建文等，2011)，但是对农田节肢动物的影响报道相对比较少。地表甲虫是农田生态系统的主要类群之一(French *et al.*，2004)，可以控制农田害虫(Clark *et al.*，1994；Symondson *et al.*，2002)，而且常常被用来作为评价农田生物多样性的指示类群(Carrière *et al.*，2009)。本研究旨在通过一个生长季的连续采样，探讨转植酸酶基因玉米对步甲物种多样性以及种群结构的影响。

1 材料与方法

1.1 实验材料

转植酸酶基因玉米品种“078”、对照品种为常规玉米“RA119”，其中转植酸酶基因玉米由奥瑞金种子有限公司提供。

1.2 实验处理

实验在北京试验基地进行，全生育期所有玉米品系灌溉以及杂草处理实行一致的管理方法，全生育期不施药。种植转植酸酶基因玉米“078”和其亲本品种“RA119”两个玉米品系作为两个处理，每个处理设置 6 个小区重复，每个小区面积 20 m × 23 m，两个品系相间排列。播种日期为 2012 年 5 月 20 日。

1.3 调查方法

步甲的调查主要采用陷阱法(Spence and Niemelä，1994；Yu *et al.*，2004)，陷阱使用塑料杯(高 9 cm × 直径 7.5 cm)，陷阱内装有防冻液作为防腐剂，陷阱上方用 PVC 板(15 cm × 15 cm)作为遮挡以避免雨水进入陷阱中，陷阱放置在长度略长于 9 cm 的 PVC 的排水管中，便于多次取样。每个品系每个样地中放置两个样点，每个样点由 5 个陷

阱组成，5 个陷阱之间距离为 1 m，呈梅花状排列。每个样点之间间距为 10 m，共 24 个样点。

从玉米苗期开始取样(6 月 6 日)，每 15 d 取一次样，每个样点 5 个陷阱中收集到的样品为一个样品，取样持续到玉米收割期(9 月 28 日)。采集到的步甲标本用酒精保存，由中国科学院动物研究所梁红斌博士和史宏亮博士帮助鉴定，所有标本保存在中国环境科学研究院。

1.4 统计分析

基于每个样点的步甲物种个体数据，采用物种丰富度(species richness)、物种多度(species abundance)、香农威纳多样性指数(Shannon-Wiener diversity index)和均匀度指数(evenness index)对步甲物种进行多样性分析。

香农威纳多样性指数(Pielou, 1975)，$H' = -\sum P_i \ln P_i$，其中 $P_i = n_i/N$，为第 $i(i = 1-S)$ 物种占总个体数 N 的比率；均匀度采用 $J = H'/H_{max}$ (Smith *et al.*, 1996)；物种丰富度采用所有取样中物种的数量表示(Pielou, 1975)；物种多度采用物种个体数量表示。

为了保证数据的正态分布，对所获取的多样性以及常见物种数量进行[$\log(X+1)$]标准化的转化。采用重复测量方差分析 Repeated ANOVA 分析季节和玉米品系对常见物种和物种多样性指数的影响；根据所有步甲在各个样点的分布数据，基于 Bray-Curtis 相似系数采用非度量多维度(NMDS)分析转植酸酶基因玉米与对照品系田内的步甲科物种

表 1 玉米田内步甲物种个体数量以及分布频率

Table 1 Count (C) and frequency (F) of carabid species caught in each maize type field and pooled total numbers

物种名 Species	常规玉米 Conventional corn		转基因玉米 Transgenic corn		合计 Total	
	C	F	C	F	C	F
巨短暗步甲 *Amara gigantea* (Motschulsky)	1.00	0.03	0.00	0.00	1.00	0.01
暗步甲属某种 *Amara* sp.	1.00	0.03	0.00	0.00	1.00	0.01
中华广肩步甲 *Calosoma chinense* Kirby	6.00	0.16	12.00	0.29	18.00	0.22
黄斑青步甲 *Chlaenius micans* Fabricius	3 425.00	89.01	3 589.00	86.19	7 014.00	87.54
后斑青步甲 *Chlaenius posticalis* Motschulsky	113.00	2.94	198.00	4.76	311.00	3.88
异角青步甲 *Chlaenius variicornis* Morawitz	1.00	0.03	1.00	0.02	2.00	0.02
逗斑青步甲 *Chlaenius virgulifer* Chaudoir	0.00	0.00	2.00	0.05	2.00	0.02
狭边青步甲 *Chlaenius inops* Chaudoir	1.00	0.03	0.00	0.00	1.00	0.01
蠋步甲 *Dolichus halensis* (Schaller)	167.00	4.34	180.00	4.32	347.00	4.33
棒婪步甲 *Harpalus bungii* Chaudoir	0.00	0.00	1.00	0.02	1.00	0.01
直角婪步甲 *Harpalus corporosus* (Motschulsky)	17.00	0.44	40.00	0.96	57.00	0.71
黄鞘婪步甲 *Harpalus pallidipennis* Morawitz	18.00	0.47	39.00	0.94	57.00	0.71
草原婪步甲 *Harpalus pastor* Motschulsky	0.00	0.00	1.00	0.02	1.00	0.01
毛婪步甲 *Harpalus griseus* (Panzer)	19.00	0.49	28.00	0.67	47.00	0.59
黑足婪步甲 *Harpalus roninus* Bates	4.00	0.10	5.00	0.12	9.00	0.11
单齿婪步甲 *Harpalus simplicidens* Schauberger	19.00	0.49	24.00	0.58	43.00	0.54
中华婪步甲 *Harpalus sinicus* Hope	1.00	0.03	0.00	0.00	1.00	0.01
大盗步甲 *Lesticus magnus* (Motsclulsky)	5.00	0.13	2.00	0.05	7.00	0.09
Oxycentrus jelineki Ito	2.00	0.05	1.00	0.02	3.00	0.04
耶屁步甲 *Pheropsophus jessoensis* Morawitz	0.00	0.00	1.00	0.02	1.00	0.01
Poecilus gebleri (Dejean)	13.00	0.34	7.00	0.17	20.00	0.25
淡足曲缘步甲 *Pterostichus microcephalus* (Motschulsky)	3.00	0.08	3.00	0.07	6.00	0.07
单齿蝼步甲 *Scarites terricola* Bouelli	32.00	0.83	30.00	0.72	62.00	0.77
总个体数 Total	3 848.00	100.00	4164.00	100.00	8 012.00	100.00

分布频率为每个物种个体数量占不同品系玉米田内所有步甲个体数量的百分比。The frequency indicates the percentage of the number of individuals of each species accounting for the total number of individuals of all species.

种群格局（仅考虑物种个体数量大于 5 头的物种）（Clarke, 1993）。其中非度量多维度分析（NMDS）和物种多样性分析使用数理统计软件 PAST 完成（Hammer, 2001），方差分析使用数理统计软件 SPSS 7.5（1997）完成，本文均以 $P<0.05$ 为显著性差异。

2　结果与分析

2.1　转植酸酶基因玉米对步甲多样性与种群的影响

共获得地表步甲标本 8 012 头，隶属于 11 属 23 种，大多数物种隶属于婪步甲属（8 种）和青步甲属（5 种），其中黄斑青步甲 *Chlaenius micans* 个体数量最多，共 7 014 头，占个体总数的 87.54%；其次为蠋步甲 *Dolichus halensis*（347 头）和后斑青步甲 *Chlaenius posticalis*（311 头）分别占总个体数的 4.33% 和 3.88%；10 个物种个体数量低于 5 头，为该地区玉米田内比较不常见的物种（表 1）。

在整个调查（6－9 月）中，转植酸酶基因玉米的物种丰富度和多度略高于常规玉米，丰富度和多度在两个生境内的季节变化趋势相似，多度在转植酸酶基因玉米和常规玉米的相似性更高。物种丰富度在调查期间呈波浪形状上升，9 月中旬达到峰值，之后下降（图 1：A）；物种多度季节变化相对平稳，在调查中后期直线上升，在 9 月中旬达到峰值，之后迅速下降（图 1：B）。步甲物种香农威纳多样性指数在两个生境内的季节变化趋势也比较相似，均在调查的 7 月中旬达到峰值，之后波浪形状下降，常规玉米的波动更为明显（图 1：C）；步甲均匀

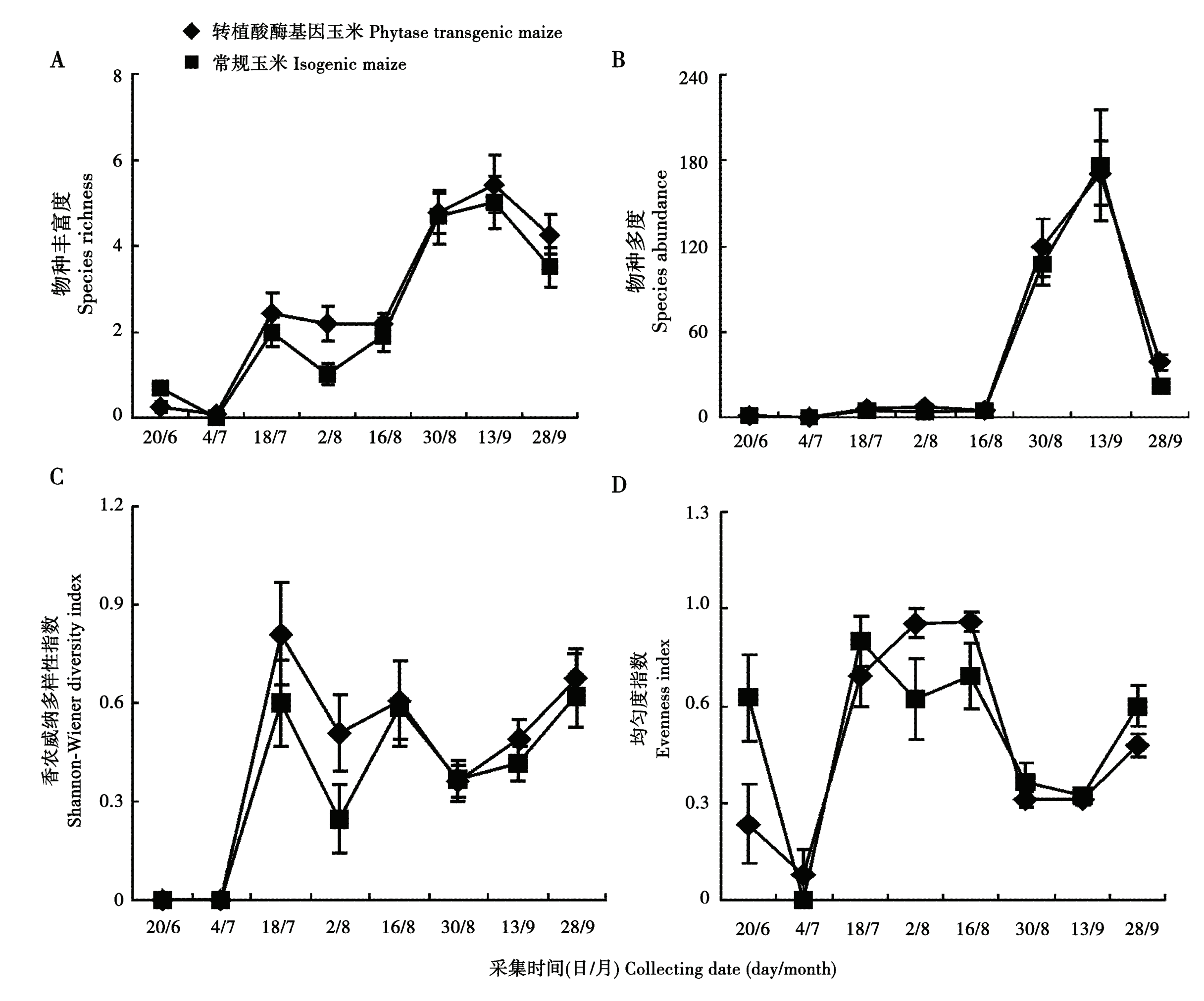


图 1　转植酸酶基因玉米与常规玉米田内的步甲物种多样性季节变化

Fig. 1　Seasonal dynamics of species diversity of carabid beetles in phytase transgenic maize and isogenic maize fields

A：物种丰富度 Species richness；B：物种多度 Species abundance；C：香农威纳多样性指数 Species Shannon-Wiener diversity index；D：物种均匀度指数 Species evenness index. 图中数值为平均值 ± *SE*。Data in the figure are mean ± *SE*. 图 3 同 The same for Fig. 3.

度在两个个生境内的季节变化趋势相似度很低，常规玉米在调查初期就达到一个小高峰，经过迅速下降之后又迅速上升，达到峰值，之后波动下降，转植酸酶基因玉米初期较高，经过下降之后迅速上升，逐步上升达到相对平稳状态，之后又迅速下降，调查末期略有上升(图 1：D)。重复测量方差分析(Repeat-ANOVA)结果表明，转植酸酶基因玉米与其亲本玉米田内的步甲物种丰富度(P = 0.254)和物种多度(P = 0.670)没有显著差异；两种玉米田内的步甲物种香农威纳多样性指数没有显著差异(P = 0.919)；尽管步甲均匀度在调查初期转植酸酶基因玉米低于常规玉米，而在调查中期趋势相反，且季节与品系的交叉影响达到显著水平($F_{1,7}$ = 2.828，P = 0.009)，但转植酸酶基因玉米与其亲本相比对步甲均匀度指数(P = 0.672)影响不显著。

基于步甲群落组成的非度量多维度分析(NMDS)结果表明，转植酸酶基因玉米与常规玉米的重叠程度很高，两种玉米田内的步甲群落具有较高的相似性(图 2)。这一结果说明，不同步甲对转植酸酶基因玉米和对照品系没有选择偏向。从整体物种组成看，虽然暗步甲属的两种 *Amara gigantean* (Motschulsky) 和 *Amara* sp.，以及中华婪步甲 *Harpalus sinicus* Hope，1845 仅出现在常规玉米田内，耶屁步甲 *Pheropsophus jessoensis* 仅在转基因玉米田内有记录，但这些物种个体数量较少，对整个玉米田内的步甲物种组成没有影响。

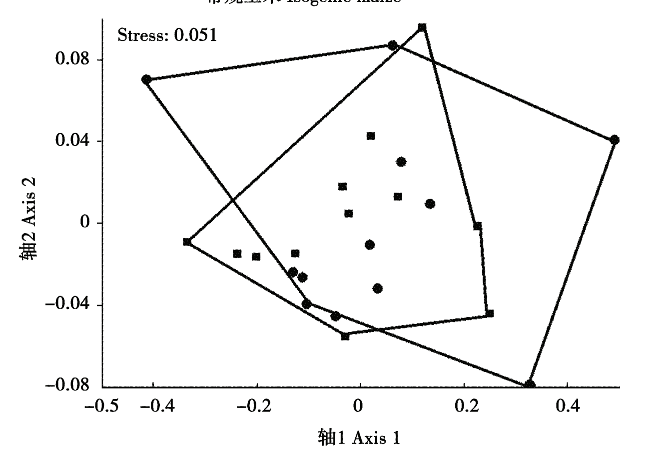


图 2 以步甲群落为属性对转基因植酸酶玉米和对照玉米生境的排序(NMDS)

Fig. 2 Ordination (NMDS) of the Carabidae of pitfall catches per sample within phytase transgenic maize and isogenic maize

2.2 转植酸酶基因玉米对常见步甲物种种群季节动态的影响

依据 Niemelä 等(1992)法则，认为步甲物种个体数量大于每个玉米品系步甲物种数量总和的 5% 且同时大于所有样地采集步甲物种数量的 2% 的物种为常见物种。由于本研究中黄斑青步甲个体数量占据所有个体数量的 87.54%，为了消除黄斑青步甲对常见物种筛选的影响，因此筛选常见物种时不考虑黄斑青步甲。本研究中共有 6 个物种为常见物种，包括黄斑青步甲 *C. micans*，蠋步甲 *D. halensis*，后斑青步甲 *C. posticalis* 和单齿蝼步甲 *Scarites terricola* 在转植酸酶基因玉米与其对照品系中均为常见物种，直角婪步甲 *Harpalus corporosus* 和黄鞘婪步甲 *Harpalus pallidipennis* 为转植酸酶基因玉米田内的常见物种。

常见物种随着季节变化趋势明显，其中黄斑青步甲 *C. micans*(图 3：A)、后斑青步甲 *C. posticalis* (图 3：B)、直角婪步甲 *H. corporosus*(图 3：D)和黄鞘婪步甲 *H. pallidipennis*(图 3：E)随季节变化趋势相似，均在调查前期数量较少，变化趋势比较平稳，8 月份之后数量急剧增加，达到峰值，之后又迅速下降到采样初期的水平。在整个调查期间，转植酸酶基因玉米中的后斑青步甲个体数量均高于对照品系(图 3：B)，且重复测量方差分析结果表明，后斑青步甲个体数量在两种玉米田内达到显著差异(P = 0.023)；黄斑青步甲在两种玉米田内的个体数量极为相似，转植酸酶基因玉米对黄斑青步甲影响不显著(P = 0.802)；直角婪步甲在调查初期，在常规玉米田内的个体数量略高于转植酸酶基因玉米，在 8 月底达到高峰期后，开始逐渐下降，而转植酸酶基因玉米田内的直角婪步甲个体数量从 8 月份开始迅速增加，持续到 9 月中旬，之后才迅速下降(图 3：D)，方差分析结果表明，这种差异没有达到显著水平(P = 0.155)；除了在调查初期转植酸酶基因玉米田内的黄鞘婪步甲个体数量略高于常规玉米之外，之后变化趋势与直角婪步甲相似，且转植酸酶基因玉米对该物种没有显著影响(P = 0.418)。

蠋步甲 *Dolichus halensis* 与前面 4 种步甲的季节变化趋势基本相似，仅该物种在 6 月初期开始有一个小高峰(图 3：C)。蠋步甲个体数量受季节变化明显($F_{1,7}$ = 19.473，P < 0.001)，但常规玉米与转植酸酶基因玉米田内蠋步甲季节变化高度相似，转植酸酶基因玉米对蠋步甲没有显著影响(P =

0.777)。

在整个调查期间，相比其他常见物种，单齿蝼步甲 *S. terricola* 的季节动态尤为复杂($F_{1,7}=7.720$, $P<0.001$)。调查初期，单齿蝼步甲物种较少，之后迅速上升，7 月的中上旬出现第一个高峰，之后迅速下降到采样初期的水平，之后缓慢波浪性状上升，在采样末期到达最高峰值；相比两种生境，在第一个高峰期，转植酸酶基因玉米中的单齿蝼步甲个体数量略高于常规玉米，而在 9 月中上旬，转植酸酶基因玉米中的单齿蝼步甲个体数量略低于常规玉米(图 3：F)，这种差异未达到显著水平($P=0.823$)。

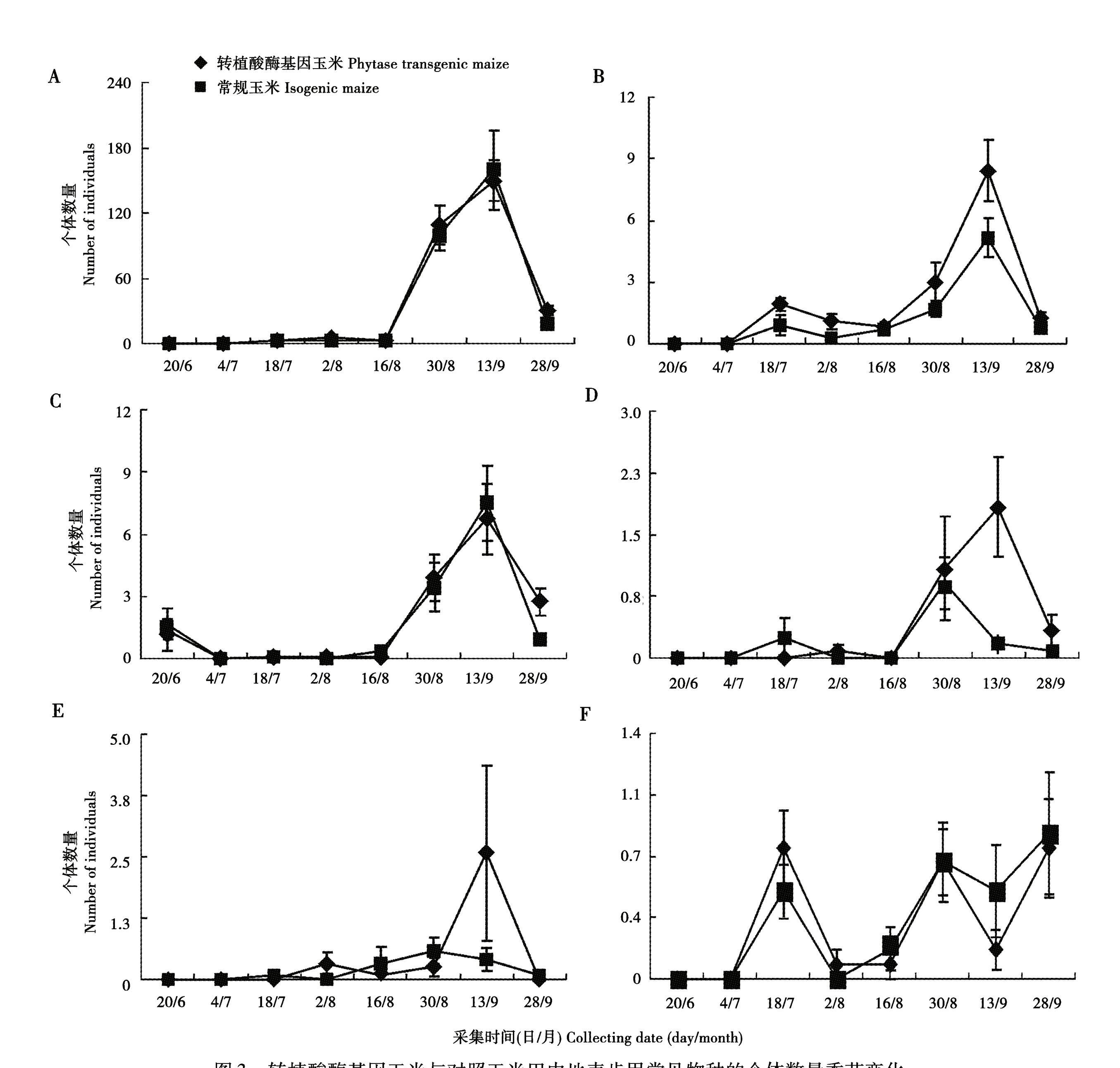


图 3　转植酸酶基因玉米与对照玉米田内地表步甲常见物种的个体数量季节变化

Fig. 3　Seasonal dynamics of abundance of dominant species of carabid beetles collected with pitfall traps in phytase transgenic maize and isogenic maize fields

A：黄斑青步甲 *Chlaenius micans* Fabricius；B：后斑青步甲 *Chlaenius posticalis* Motschulsky；C：蠋步甲 *Dolichus halensis* (Schaller)；D：直角婪步甲 *Harpalus corporosus* (Motschulsky)；E：黄鞘婪步甲 *Harpalus pallidipennis* Morawitz；F：单齿婪步甲 *Scarites terricola* Bouelli.

3 讨论

本文研究结果表明黄斑青步甲，后斑青步甲和蠋步甲为玉米田内主要常见物种，个体数量占所有步甲物种个体总数的95.75%，其次为单齿蝼步甲、黄鞘婪步甲和直角婪步甲。刘云慧等(2004)对北京小麦与玉米轮作的农田以及周边步甲种群时空动态研究表明黄斑青步甲和黄鞘婪步甲为农田常见物种。杂食性物种婪步甲在国外也被描述为农田的常见物种，仅仅由于研究区域的不同物种种类表现出差异，比如 *Harpalus gravis* Leconte 是北美棉田的常见物种(Torres and Ruberson, 2007)，*Harpalus pensylvanicus* (DeGeer)在苏丹的大豆与玉米田内(French *et al*., 2004)以及美国的宾夕法尼亚玉米田内均被发现是常见物种(Leslie *et al*., 2009)。蝼步甲属的 *Scarites quadriceps* 也被认为是玉米田内的常见物种(Leslie *et al*., 2009)。本研究中蠋步甲为农田内的常见物种，很可能与农作物、地理位置与环境因素有关。主要常见物种黄斑青步甲、后斑青步甲和蠋步甲均为捕食性甲虫，实验室研究表明这3种步甲均为鳞翅目幼虫的主要天敌(Suenaga, 1988)，它们数量的增加很可能是由于本实验中的玉米不做任何农药处理，且种植的转植酸酶基因玉米主要是提高玉米籽粒中的植酸酶含量，不具有杀虫效应，有可能玉米螟的存在为它们提供了丰富的食物，导致这些物种成为主要优势类群。

欧洲对玉米田内的地表隐翅虫(Farinós *et al*., 2008; Balog *et al*., 2010)和捕食性蜘蛛(Ludy *et al*., 2006)的研究结果表明，转基因玉米对这些捕食性地表节肢动物种群结构和物种多样性没有显著影响，我国对转基因 *Cry1Ac* 玉米田内的非靶标节肢动物的群落多样性影响研究支持这一结论(王培等, 2006)。本实验得出相似的结果，转植酸酶基因玉米对地表甲虫的多样性和种群结构没有显著影响。本文研究的转植酸酶基因玉米外源基因为植酸酶基因，该基因广泛存在于植物、动物以及微生物组织中，且功效是提高玉米种子中的植酸酶活力(Chen *et al*., 2008; Shen *et al*., 2008)，与之前转 Bt 基因抗虫玉米不同，不具有抗虫效果，对玉米田内步甲主要食物鳞翅目幼虫也没有不利影响，因此两种玉米田内的步甲物种多样性和种群结构相似度很高。对转植酸酶基因玉米的潜在毒性、过敏反应测试结果也表明，转植酸酶基因玉米对哺乳动物无不良影响(熊建文等, 2011)。

转植酸酶基因玉米对大多数步甲物种影响不显著，仅后斑青步甲在转植酸酶基因玉米田内种群数量显著升高。尽管目前国际上对转植酸酶基因玉米的研究很少，对商业化种植的转 Bt 基因玉米研究较多，但本文研究结论与之前对转 Bt 基因玉米的研究有相似之处。比如德国研究表明捕食性蜘蛛的种群数量在调查的前两年没有显著差异，但是第三年在转 Bt 田内的捕食性蜘蛛种群数量明显增加(Ludy *et al*., 2006)，也有研究结果表明转基因 Bt 玉米田内的捕食性隐翅虫种群数量相比常规玉米显著降低(Balog *et al*., 2010)。无论是捕食性昆虫种群数量的上升还是下降，目前这种影响机制还不清楚，有些学者认为这种差异可能来自于两种品系本身的遗传基础的不同(Balog *et al*., 2010)。因此，本研究观察到的转植酸酶基因玉米田内黄斑青步甲的个体数量的增加，还需要长期连续的观察进一步分析这种变化趋势的稳定性，并通过大量的室内试验分析其影响机制。

参考文献(References)

Álvarez-Alfageme F, Ortego F, Castanera P, 2009. Bt maize fed-prey mediated effect on fitness and digestive physiology of the ground predator *Poecilus cupreus* L. (Coleoptera: Carabidae). *Journal of insect Physiology*, 55(2): 144-150.

Balog A, Kiss J, Szekeres D, Szenasi A, Marko V, 2010. Rove beetle (Coleoptera: Staphylinidae) communities in transgenic Bt (MON810) and near isogenic maize. *Crop Protection*, 29(6): 567-571.

Bergelsen J, Purrington CB, Wichmann G, 1998. Promiscuity in transgenic plants. *Nature*, 395: 25.

Carrière Y, Christa EK, Manda GC, Christine MY, Larry A, Huang CY, Magfurar R, Barron JO, Stuart EM, 2009. Landscape effects of transgenic cotton on non-target ants and beetles. *Basic and Applied Ecology*, 10: 597-606.

Chen JJ, Wang J, Wan YS, Jin WJ, 2007. Safety assessment and commercialization of transgenic crops. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 9(3): 38-43. [陈洁君, 王劲, 宛煜嵩, 金芜军, 2007. 转基因作物安全性评价与商品化前景分析. 中国农业科技导报, 9(3): 38-43]

Chen RM, Xue GX, Chen P, Yao B, Yang WZ, Ma QL, Fan YL, Zhao ZY, Tarczynski MC, Shi JR, 2008. Transgenic maize plants expressing a fungal phytase gene. *Transgenic Res*., 17(4): 633-643.

Clark MS, Luna JM, Stone ND, Youngman RR, 1994. Generalist predator consumption of armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and effect of predator removal on damage in no-till corn. *Environmental Entomology*, 23: 617-622.

Clarke KR, 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18(1): 117 – 143.

Crawley MJ, Brown SL, Hails RS, Kohn DD, Rees M, 2001. Transgenic crops in natural habitats. *Nature*, 409: 682 – 283.

Farinós GP, Poza M, Hernández-Crespo P, Ortego F, Castañera P, 2008. Diversity and seasonal phenology of aboveground arthropods in conventional and transgenic maize crops in Central Spain. *Biological Control*, 44(3): 362 – 371.

French BW, Chandler LD, Ellsbury MM, Fuller BW, West M, 2004. Ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages in a transgenic corn-soybean cropping system. *Environmental Entomology*, 33(3): 554 – 563.

Hammer ф, Harper DAT, Ryan PD, 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4: 1 – 9.

Harwood JD, Wallin WG, Obrycki JJ, 2005. Uptake of Bt endotoxins by nontarget herbivores and higher order arthropod predators: molecular evidence from a transgenic corn agroecosystem. *Molecular Ecology*, 14(9): 2815 – 2823.

Leslie TW, Biddinger DJ, Mullin CA, Fleischer SJ, 2009. Carabidae population dynamic and temporal partitioning: response to coupled neonicotinoid-transgenic technologies in maize. *Environmental Entomology*, 38(3): 935 – 943.

Li LL, 2004. The Effect of Transgenic *Bacillum thuringiensis* Corn on Corn Leaf Aphis *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) and Its Predator *Propylaea japonica* (Thunberg). MSc Thesis, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi. [李丽莉, 2004. 转 Bt 基因玉米对玉米蚜及其捕食性天敌龟纹瓢虫的影响. 杨凌: 西北农林科技大学硕士学位论文]

Li LL, Wang ZY, He KL, Bai SX, Hua L, 2007. Effects of transgenic corn expressing *Bacillus thuringiensis* cry1Ab toxin on population increase of *Rhopalosiphum maidis* Fitch. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 18(5): 1077 – 1080. [李丽莉, 王振营, 何康来, 白树雄, 花蕾, 2007. 转 Bt 基因玉米对玉米蚜种群增长的影响. 应用生态学报, 18(5): 1077 – 1080]

Liu YH, Yu ZR, Liu Y, 2004. Temporal and spatial structure of carabid community in agricultural landscape of Dongbeiwang, Beijing. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 15(1): 85 – 90. [刘云慧, 宇振荣, 刘云, 2004. 北京东北旺农田景观步甲群落结构的时空动态比较. 应用生态学报, 15(1): 85 – 90]

Ludy C, Lang A, 2006. A 3-year field-scale monitoring of foliage-dwelling spiders (Araneae) in transgenic Bt maize fields and adjacent field margins. *Biological Control*, 38(3): 314 – 324.

Lumbierres B, Albajes R, Pons X, 2004. Transgenic Bt maize and *Rhopalosiphum padi* (Hom., Aphididae) performance. *Ecological Entomology*, 29(3): 309 – 317.

Lundgren JG, Wiedenmann RN, 2002. Coleopteran-specific Cry3Bb toxin from transgenic corn pollen does not affect the fitness of a nontarget species, *Coleomegilla maculata* DeGeer (Coleoptera, Coccinellidae). *Environmental Entomology*, 31 (6): 1213 – 1218.

Pielou EC, 1975. Ecological Diversity. Wiley, New York.

Ramires-Romero R, Desneux N, Chaufaux J, Kaiser L, 2008. Bt-maize effects on biological parameters of the non-target aphid *Sitobion avenae* (Homoptera: Aphididae) and Cry1Ab toxin detection. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 91: 110 – 115.

Shen YO, Wang HN, Pan GT, 2008. Improving inorganic phosphorus content in maize seeds by introduction of phytase gene. *Biotechnology*, 7: 323 – 327.

Smith B, Wilson JB, 1996. A consumer's guide to evenness indices. *Oikos*, 76: 70 – 82.

Spence JR, Niemela JK, 1994. Sampling carabid assemblages with pitfall traps: the madness and the method. *Canadian Entomologist*, 126: 881 – 894.

SPSS Inc, 1997. SPSS Base 7.5 For Windows User's Guide. SPSS Inc., Chicago. 883 pp.

Suenaga H, Hamamura T, 1998. Laboratory evaluation of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) as predators of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) larvae. *Environmental Entomology*, 27 (3): 767 – 772.

Symondson WOC, Sunderland KD, Greenstone MH, 2002. Can generalist predators be effective biocontrol agents? *Annu. Rev. Entomol.*, 47: 561 – 594.

Torres JB, Ruberson JR, 2007. Abundance and diversity of ground-dwelling arthropods of pest management importance in commercial Bt and non-Bt cotton fields. *Annals of Applied Biology*, 150(1): 27 – 39.

Wang P, Wang YL, Wang ZY, He KL, 2011. The impact of transgenic Cry1Ac maize on the biodiversity of non-target arthropod. In: Innovation of Plant Protection and Specialization and Control – Proceedings of China Plant Protection Society 2011 Conference. 814. [王培, 王应伦, 王振营, 何康来, 2011. 转 Cry1Ac 基因玉米对玉米田非靶标节肢动物群落生物多样性的影响. 见: 植保科技创新与病虫防控专业化——中国植物保护学会 2011 年学术年会论文集. 814]

Wang XQ, Wang S, Zhang JM, Yang JP, 2011. The effect of dietary supplementation with phytase transgenic corn on growth performance, phosphorus utilization and excretion in growing pigs. *Agricultural Sciences in China*, 10(5): 769 – 776.

Xiong JW, Peng R, Tan XJ, Wang JR, 2011. Research progress and safety evaluation of phytase transgenic maize. *Genomics and Applied Biology*, 30(2): 251 – 256. [熊建文, 彭瑞, 覃晓娟, 王继瑞, 2011. 转植酸酶基因玉米的研究与安全评价. 基因组学与应用生物学, 30(2): 251 – 256]

Yao B, Fan YL, 2000. Molecular biology and gene engineering of phytase. *Chinese Journal of Biotechnology*, 16(1): 5 – 9. [姚斌, 范云六, 2000. 植酸酶的分子生物学与基因工程. 生物工程学报, 16(1): 5 – 9]

Yu XD, Luo TH, Zhou HZ, 2004. *Carabus* (Coloeptera: Carabidae) assemblages of native forests and non-native plantations in northern China. *Entomol. Fennica*, 15: 129 – 137.

Zhang JM, Deng LQ, Chen RM, Ma YX, 2011. Effect of transgenic phytase corn on growth performance and Ca-P metabolism in broiler. *Chinese Journal of Veterinary Science*, 31(2): 283 – 287. [张军

民，邓丽青，陈茹梅，马永喜，2011. 转植酸酶基因玉米对肉仔鸡生长性能及钙磷代谢的影响. 中国兽医学报，31(2)：283 – 287]

Zhang MH, Wu D, Shen JL, Zhang JM, 2012. Study on the stability of phytase in phytase transgenic maize. *Feed Industry Magazine*, 33 (10)：32 – 34. [张梦晗，吴丹，沈景林，张军民，2012. 转植酸酶基因玉米植酸酶稳定性的研究. 饲料工程，33(10)：32 – 34]

Zhang YJ, Sun Y, Yuan HB, Wu KM, Peng YF, Guo YY, 2005. Effects of transgenic Bt-*cry1Ab* corn pollen on the growth and development and the activity of three metabolic enzymes in *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera：Coccinellidae). *Acta Entomologica Sinica*, 48(6)：898 – 902. [张永军，孙毅，袁海滨，吴孔明，彭于发，郭予元，2005. 转 Bt-*cry1Ab* 玉米花粉对异色瓢虫生长发育及体内三种代谢酶活性的影响. 昆虫学报，48(6)：898 – 902]

（责任编辑：袁德成）